

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF TERHADAP REAKSI FOTOKATALIS TiO_2 DALAM PROSES DEGRADASI POLUTAN

ELINDA VICTORIA^{1*}, LAELATUL MUBAROKAH¹, NADIA DESIANA N.¹, SAFHIRA NUR
LAELY¹, M. ALFI WIRDIYAN¹, RETI RANGGINA TANGDILILING¹, HELENA MORA
SIAHAAN¹, LUSI SAFRIANI², ANNISA APRILIA²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014

*Corresponding author

Email: elinda22001@mail.unpad.ac.id

Diserahkan: 04/12/2025

Diterima: 06/02/2026

Dipublikasikan: 12/02/2026

Abstrak. Fotokatalisis telah muncul sebagai teknologi yang menjanjikan untuk degradasi polutan organik dan anorganik dalam air limbah. Senyawa fotokatalis titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu material yang banyak diteliti untuk aplikasi dalam proses degradasi polutan. Selain metode fotokatalis, proses lain dalam mekanisme penjernihan air yang telah umum digunakan adalah metode adsorpsi oleh senyawa berbasis karbon. Penambahan senyawa adsorben diperkirakan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dari proses fotokatalis. Hal ini disebabkan oleh kontak permukaan yang tinggi antara senyawa adsorben dengan polutan sebelum dilanjutkan oleh proses fotokatalisis oleh TiO_2 . Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan studi pengaruh penambahan senyawa karbon aktif sebagai material adsorben terhadap kinerja fotokatalis material TiO_2 . Studi penambahan senyawa karbon aktif terhadap reaksi fotokatalisis dilakukan dengan mencampurkan senyawa karbon aktif (KA) dengan variasi konsentrasi antara TiO_2 dengan karbon aktif adalah sebesar 1: 0,25 dan 1:0,5. Berdasarkan hasil pengujian fotokatalitik menggunakan larutan uji (tercemar zat warna metil biru) diketahui bahwa komposit TiO_2 /karbon aktif dengan variasi 1:0,25 dapat menurunkan konsentrasi metilen biru lebih cepat. Efisiensi degradasi mencapai >90% dan mengikuti kinetika orde satu dengan konstanta laju 0,083 menit^{-1} . Jika dibandingkan dengan hasil fotokatalis hanya menggunakan TiO_2 saja, maka efisiensi meningkat sebesar 30%. Hal menarik terjadi ketika konsentrasi karbon aktif lebih besar (1:0,5). Efisiensi penjernihan air hanya meningkat sebesar 20%. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat konsentrasi optimal agar reaksi penjernihan air dengan kombinasi metode adsorpsi dan fotokatalis dapat berjalan lebih efektif.

Kata Kunci: degradasi, fotokatalis, karbon aktif, TiO_2

Abstract. Photocatalysis has emerged as a promising technology for the degradation of both organic and inorganic pollutants in wastewater. Among the various photocatalyst materials, titanium dioxide (TiO_2) has been widely studied due to its high photocatalytic activity and chemical stability. In addition to photocatalysis, adsorption using carbon-based materials is a commonly employed method in water purification. The incorporation of adsorbent compounds

is expected to enhance the efficiency and effectiveness of the photocatalytic process by increasing the surface contact between the pollutants and the adsorbent prior to their degradation by TiO₂. In this study, the effect of adding activated carbon as an adsorbent on the performance of TiO₂-based photocatalysts was investigated. The TiO₂/activated carbon composites were prepared with weight ratios of 1:0.25 and 1:0.5. Photocatalytic activity was evaluated using a test solution containing methylene blue as a model pollutant. The results showed that the TiO₂/activated carbon composite with a 1:0.25 ratio exhibited a faster degradation rate of methylene blue. The degradation efficiency exceeded 90% and followed first-order kinetics, with a rate constant of 0.083 min⁻¹. Compared to pure TiO₂, the addition of activated carbon improved the degradation efficiency by approximately 30%. These findings indicate a synergistic effect between adsorption and photocatalysis, leading to enhanced pollutant removal efficiency.

Keywords: degradation, photocatalyst, activated carbon, TiO

1. Pendahuluan

Perkembangan pesat di sektor industri secara signifikan telah meningkatkan volume dan kompleksitas limbah cair yang dilepaskan ke lingkungan. Limbah ini seringkali mengandung senyawa organik berbahaya, seperti zat warna, fenol, dan pestisida, yang bersifat toksik, sulit terdegradasi secara biologis (non-biodegradable), dan dapat membahayakan ekosistem perairan serta kesehatan manusia. Metode pengolahan limbah konvensional, seperti koagulasi-flokulasi dan adsorpsi, terkadang tidak cukup efektif untuk mendegradasi senyawa-senyawa persisten ini, sehingga mendorong pengembangan teknologi yang lebih maju dan ramah lingkungan [1].

Salah satu teknologi yang paling menjanjikan adalah Advanced Oxidation Processes (AOPs), di antaranya adalah metode fotokatalisis menggunakan semikonduktor. Titanium dioksida (TiO₂) telah menjadi fotokatalis yang paling banyak diteliti dan digunakan karena sifatnya yang unggul, seperti stabilitas kimia yang tinggi, tidak beracun, biaya yang relatif rendah, dan ketersediaan yang melimpah [2]. Prinsip kerja fotokatalisis TiO₂ adalah pembentukan pasangan elektron-lubang (electron-hole pair) ketika material ini dikenai radiasi dengan energi yang lebih besar dari energi celah pita ($E > E_{\text{gap}}$). Pasangan ini kemudian bereaksi dengan molekul air dan oksigen untuk menghasilkan spesi radikal yang sangat reaktif, terutama radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) [3], yang mampu mengoksidasi dan mendegradasi molekul polutan menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya, seperti CO₂ dan H₂O.

Meskipun demikian, penggunaan TiO₂ murni dalam aplikasi fotokatalisis memiliki beberapa kelemahan fundamental yang membatasi efisiensinya. Salah satu tantangan utama adalah tingginya laju rekombinasi atau penggabungan kembali antara elektron dan lubang yang terbentuk, yang mengurangi jumlah spesi radikal yang dapat dihasilkan [4]. Selain itu, efisiensi proses juga sangat bergantung pada kemampuan polutan untuk teradsorpsi di permukaan katalis, di mana reaksi degradasi berlangsung [5].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, berbagai upaya modifikasi telah dilakukan, salah satunya adalah dengan membuat komposit TiO₂ dengan material lain. Karbon aktif (KA) menjadi material pendukung yang sangat menarik karena memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar, struktur pori yang berkembang baik, dan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap berbagai senyawa organik [6]. Penambahan karbon aktif pada TiO₂ diyakini dapat memberikan efek sinergis. Pertama, karbon aktif berfungsi sebagai adsorben yang mampu mengakumulasi molekul polutan di sekitar partikel TiO₂, sehingga

meningkatkan konsentrasi lokal reaktan pada antarmuka katalis [7]. Kedua, karbon aktif dapat berperan sebagai akseptor elektron, yang efektif menekan laju rekombinasi pasangan elektron-lubang pada TiO_2 , sehingga meningkatkan efisiensi kuantum dari proses fotokatalitik [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi mengenai pengaruh penambahan karbon aktif terhadap aktivitas fotokatalis TiO_2 dalam mendegradasi polutan organik. Kajian ini akan mengevaluasi bagaimana komposit TiO_2/KA dapat meningkatkan efisiensi degradasi dibandingkan dengan TiO_2 murni. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai mekanisme sinergis antara TiO_2 dan karbon aktif serta potensinya untuk diaplikasikan dalam sistem pengolahan air limbah yang lebih efektif dan efisien.

2. Metode Penelitian

Larutan polutan yang digunakan berupa larutan metilen biru (MB) dibuat dari campuran 250 ml air ledeng dan 40 tetes MB. Sebanyak 1 gr bubuk TiO_2 ditimbang menggunakan timbangan digital, lalu dicampur ke dalam larutan metilen biru kemudian diaduk selama 5 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Fenomena fotokatalis diamati di dalam sebuah UV box, dimana campuran TiO_2 dan MB disimpan di dalamnya dan diaduk secara simultan selama 10 menit sebelum diambil sampel sebanyak 20 ml ke dalam gelas *beaker*. Didapatkan 8 sampel (dengan 1 sampel merupakan sampel murni tanpa TiO_2) yang dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Sampel mengalami pendiaman (pengendapan) selama 72 jam (3 hari), sebelum akhirnya dicari nilai absorbansi menggunakan alat Spektrofotometer UV-Vis. Digunakan panjang gelombang absorbansi sebesar 610 nm yang berkorespondensi terhadap karakteristik larutan MB.

Pengamatan selanjutnya dilakukan untuk perbandingan kualitas degradasi polutan, yaitu dengan menambahkan material adsorben berupa karbon aktif (KA). Variasi yang digunakan adalah rasio massa $\text{TiO}_2:\text{KA}$ sebesar 1:0,25 dan 1:0,5. Penambahan karbon aktif terjadi secara bersamaan dengan penambahan TiO_2 ke dalam larutan MB, lalu diaduk selama 10 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Proses pengambilan sampel dilakukan dengan penyaringan menggunakan kertas saring. Untuk variasi 1:0,25 didapatkan sebanyak 12 sampel termasuk 1 sampel murni. Sedangkan untuk variasi 1:0,5, terdapat 3 jenis variasi lagi dengan waktu pengendapan sebagai variabelnya. Untuk waktu pengendapan 1 jam terdapat 10 sampel, waktu pengendapan 72 jam terdapat 8 sampel, dan untuk waktu pengendapan 100 jam terdapat 9 sampel. Sampel-sampel ini kemudian dicari nilai absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

Nilai absorbansi yang didapatkan selanjutnya digunakan untuk menentukan laju degradasi dari sampel. Laju degradasi didapatkan dengan metode kinetika orde satu, dengan memplotkan nilai absorbansi sampel terhadap waktu. Dengan bantuan aplikasi Microsoft Excel, nilai laju degradasi bisa didapatkan menggunakan persamaan eksponensial berdasarkan plotting data absorbansi sebelumnya. Nilai laju selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai konsentrasi sampel pada waktu tertentu (C_t) dan juga efisiensi degradasi, menggunakan persamaan:

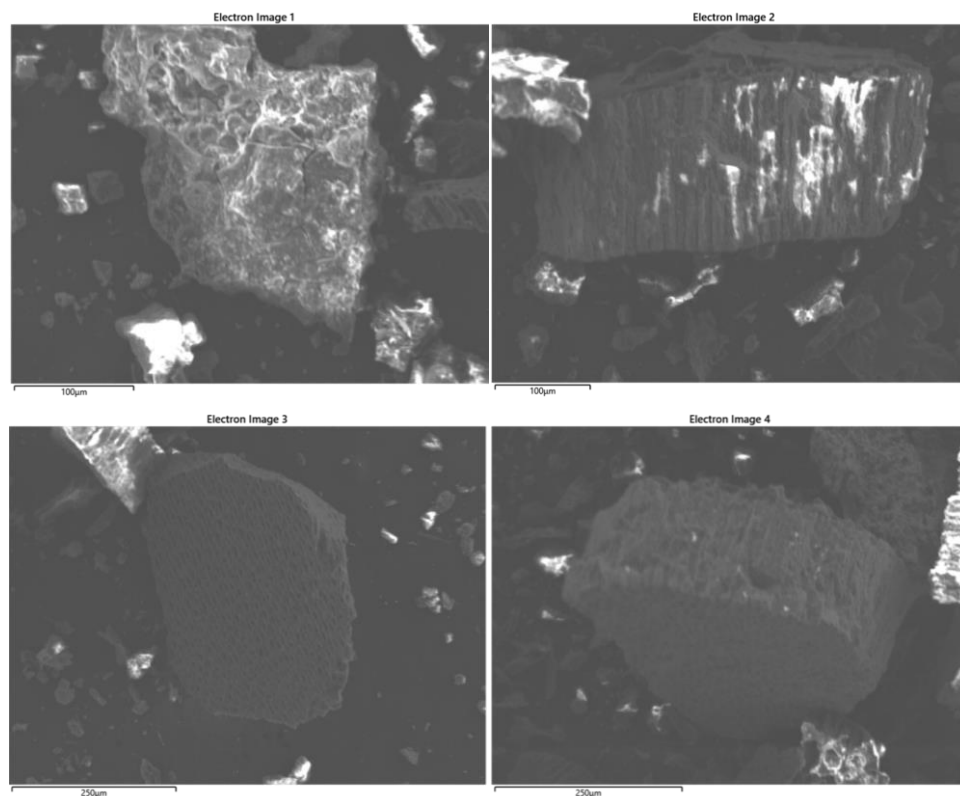
$$C_t = C_0 e^{(-kt)} \quad (1)$$

$$Efisiensi (\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana C_t adalah konsentrasi pada waktu tertentu, C_0 adalah konsentrasi awal, t adalah waktu, dan k adalah laju degradasi. Dengan menentukan nilai C_t maka akan ditemukan fenomena degradasi polutan yang laju degradasinya akan sesuai dengan laju degradasi yang didapatkan, dimana hal ini akan bergantung pada nilai konsentrasi awal sampel (C_0). Dilakukan juga karakterisasi untuk material TiO_2 berupa BET (Brunauer–Emmett–Teller) dan XRD (*X-Ray Diffraction*), serta untuk material karbon aktif berupa BET, EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*), untuk mengetahui karakteristik dari material yang digunakan.

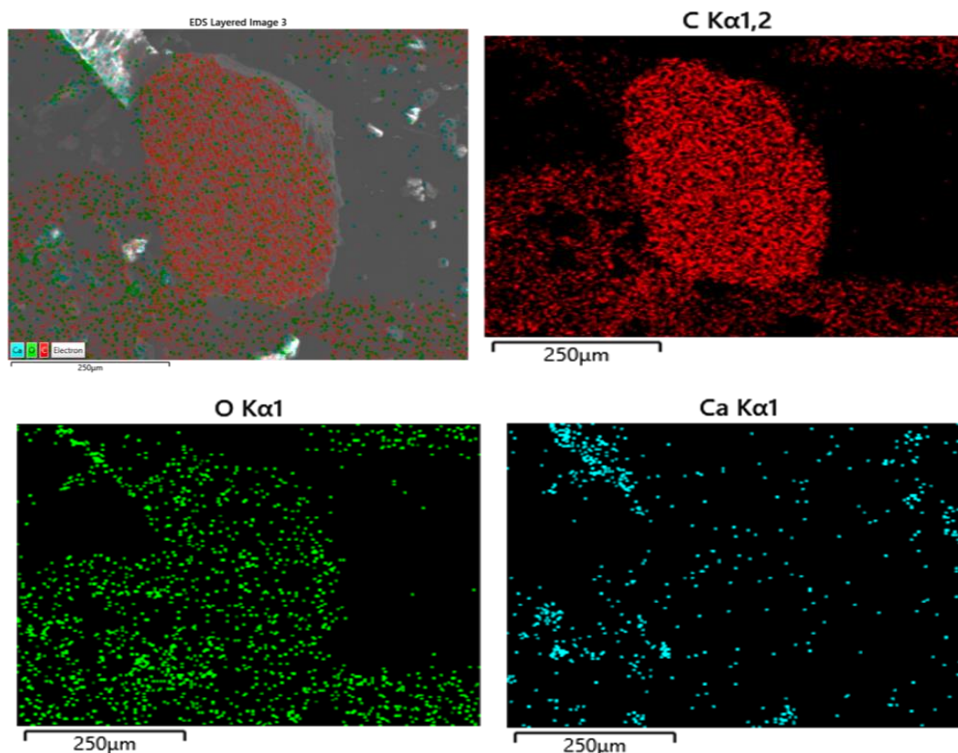
3. Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi SEM dan EDS dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan material, mengonfirmasi adanya struktur pori, serta unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Karbon aktif yang diuji merupakan hasil aktivasi dari arang tempurung kelapa. Hasil SEM pada Gambar 1 menunjukkan adanya struktur permukaan yang berpori dan tidak rata.



Gambar 1. Citra SEM dari karbon aktif tempurung kelapa

Struktur berpori tersebut sangat penting dalam mendukung fungsionalitasnya sebagai material adsorben pada proses penjernihan air. Karbon aktif menyerap molekul organik seperti metilen biru dari larutan ke permukaan pori-porinya. Melalui struktur pori tersebut, karbon aktif membantu mengurangi konsentrasi zat warna, menempatkan molekul polutan di sekitar permukaan aktif fotokatalis, serta menjebak elektron bebas hasil eksitasi cahaya pada TiO_2 , sehingga menghambat rekombinasi pasangan elektron-hole.



Gambar 2. Hasil pemetaan unsur dalam karbon aktif tempurung kelapa berdasarkan hasil EDS

Hasil karakterisasi EDS menunjukkan bahwa karbon aktif berhasil diaktivasi dari tempurung kelapa, ditunjukkan dengan persentase massa total 80,82% karbon. Unsur karbon dan oksigen yang terdistribusi merata, dan nampak sedikit unsur kalsium. Oksigen dengan persentase 17,85% mengindikasikan adanya gugus hidroksil dan karbonil yang dapat meningkatkan afinitas terhadap molekul polutan seperti metilen biru. Sementara unsur kalsium sebesar 1,33% nampak tidak terdistribusi secara signifikan yang menunjukkan kehadirannya kemungkinan berasal dari residu abu tempurung kelapa.

Tabel 1. Konsentrasi unsur yang terkandung pada karbon aktif berdasarkan hasil EDS

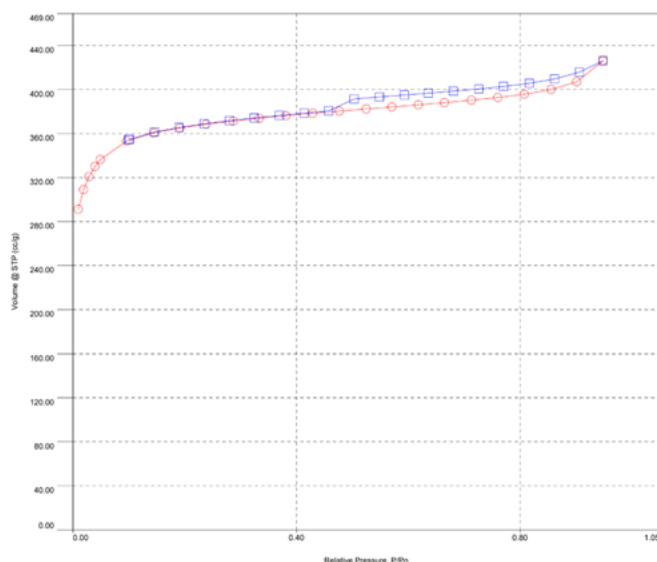
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	80.82	0.64	85.41
O	K series	17.85	0.64	14.16
Ca	K series	1.33	0.10	0.42
Total		100.00		100.00

Karakterisasi karbon aktif menggunakan metode *Density Functional Theory* (DFT) pada Tabel 2 menunjukkan luas permukaan spesifik tercatat mencapai 1115,73 m²/g, nilai tersebut mengindikasikan bahwa karbon aktif memiliki siklus aktif yang sangat tinggi untuk proses adsorpsi. Volume pori total sebesar 0,57900 cm³/g menunjukkan bahwa struktur pori yang berkembang dengan baik, sehingga meningkatkan kapasitas penyerapan molekul polutan. Distribusi ukuran pori menunjukkan frekuensi paling banyak berkisar pada 1,23 nm, struktur pori dominan pada rentang mikropori hingga mesopori sempit. Karakter tersebut ideal untuk menjebak molekul organik kecil hingga sedang seperti metilen biru.

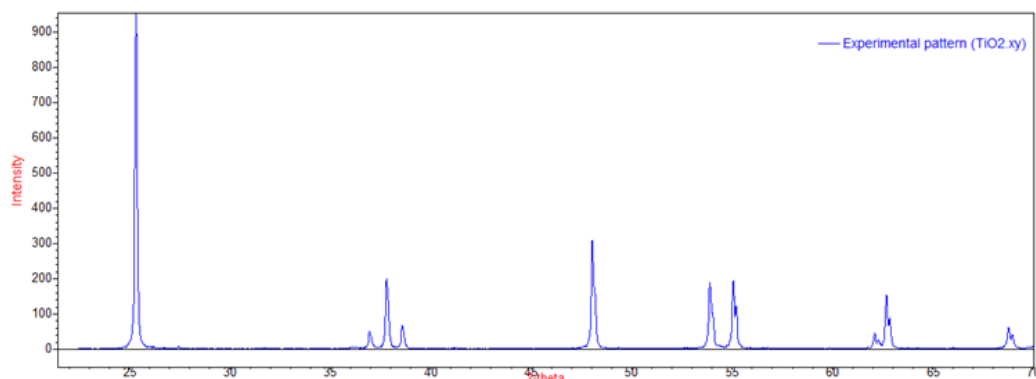
Tabel 2. Data summary dari karakterisasi BET (metode DFT) untuk ukuran pori karbon aktif

Surface area (DFT method)	1115,73 m ² /g
Pore volume (total)	0,57900 cm ³ /g
Modus	6,159 Å~1,23 nm

Grafik isoterm adsorpsi pada Gambar 3 menunjukkan kurva yang meningkat tajam pada tekanan relatif rendah (P/P_0), tanpa *hysteresis loop* yang signifikan. Hal tersebut mengindikasikan adsorpsi yang terjadi secara efisien pada mikropori (isoterm tipe 1-Langmuir). Data tersebut mendukung fakta bahwa karbon aktif mampu menjebak polutan dengan cepat bahkan saat konsentrasi rendah. Secara keseluruhan, sifat fisik yang ditunjukkan karbon aktif sebagai adsorben sangat mendukung peran TiO_2 sebagai fotokatalis dalam aplikasi penjernihan air.

**Gambar 3.** Grafik isotherm pressure composition dari karakterisasi BET dari karbon aktif, garis merah menunjukkan proses adsorpsi dan garis biru menunjukkan desorpsi

Berdasarkan pola XRD sampel TiO_2 pada Gambar 4, puncak paling intens muncul pada $2\theta \approx 25,3$, dengan menggunakan data JCPDS 21-1217 untuk identifikasi orientasi bidang kristal, dapat disimpulkan bahwa orientasi dominan kristal adalah arah (101). Orientasi tersebut adalah ciri khas untuk TiO_2 dengan fasa anatase.

**Gambar 4.** Kurva Karakterisasi XRD TiO_2

Berdasarkan nilai intensitas, puncak yang paling tinggi terletak pada $2\theta = 25,307^\circ$ dengan intensitas 1000. Berdasarkan informasi tersebut, dapat dihitung untuk jarak antar bidang atau d-spacing dengan menggunakan Hukum Bragg $d = \lambda/2\sin\theta$. Dengan keterangan bahwa $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ (panjang gelombang radiasi Cu K α) dan sudut dengan puncak tertinggi yaitu $\theta = 2\theta/2 = 12,6535^\circ$. Dengan mensubstitusi nilai tersebut, d-spacing bernilai $3,516 \text{ \AA}$. Berdasarkan identifikasi struktur kristal dari TiO_2 anatase, diketahui memiliki struktur tetragonal.

00-901-5929

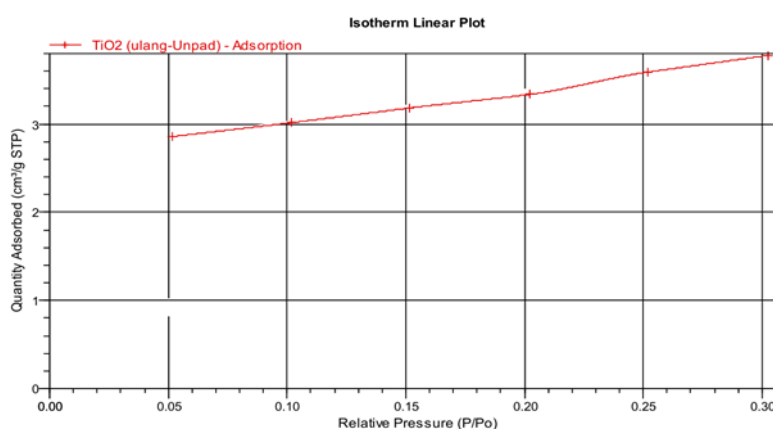
COD CIF File	http://www.crystallography.net/cod/9015929.html
Mineral Name	Anatase
Formula	O ₂ Ti
Quality	C (calculated pattern)
I/Ic	5.31
Reference	Howard, C. J. Sabine, T. M. Dickson, F., Acta Crystallographica, Section B, 47 (1991)
Space Group	I 4 ₁ /a m d :1 (141)
Crystal system	Tetragonal
Cell parameters	a=3.7845 Å c=9.5143 Å
Cell volume	136.27 Å ³
Wavelength	1.54056 Å
μ(Cu Kα)	483.460 cm ⁻¹

Diffraction data				
2theta	d[Å]	Int.	hkl	mult
25.3062	3.5165	1000.00	1 0 1	8
36.9491	2.4308	63.68	1 0 3	8
37.7903	2.3786	213.49	0 0 4	2
38.5699	2.3323	73.85	1 1 2	8

Gambar 5. Keterangan dari Crystallography Open Database yang cocok dengan pola XRD TiO_2

Struktur TiO_2 yang diidentifikasi memiliki fasa anatase, dengan band-gap $\sim 3,2 \text{ eV}$ lebih tinggi dibandingkan fasa rutile TiO_2 . Faktor ini mempengaruhi aktivitas fotokatalitik dan rekombinasi muatan elektron-hole dalam degradasi metilen biru.

Analisis BET juga dilakukan pada material TiO_2 dengan tujuan untuk mengetahui luas permukaan spesifik dari material. Berdasarkan hasil karakterisasi, luas permukaan spesifik yang dihitung (BET surface area) adalah sebesar $11,4874 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $17,69 \text{ m}^2/\text{g}$ berdasarkan Langmuir Surface Area. Nilai rata-rata diameter pori-pori dari sampel TiO_2 adalah sebesar $2,2216 \text{ nm}$, sehingga diidentifikasi sebagai material mesopori berdasarkan standar IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry).



Gambar 6. Kurva isotherm adsorpsi Nitrogen pada sampel TiO_2 : hubungan antara tekanan relatif (P/P_o) dan volume gas yang teradsorpsi ($\text{cm}^3/\text{g STP}$)

Kurva isoterm adsorpsi nitrogen pada sampel TiO_2 pada Gambar 6 memperlihatkan kenaikan volume gas nitrogen yang teradsorpsi oleh permukaan TiO_2 terhadap kenaikan tekanan relatif. Hubungan terhadap kedua parameter menunjukkan pola yang linear dan peningkatan terjadi secara perlahan. Pada tekanan relatif (P/P_0) 0.3, sebanyak $3.7796 \text{ cm}^3/\text{g}$ STP adsorbat dapat menempel pada permukaan TiO_2 . Kurva tersebut menyerupai grafik isoterm tipe II yang cenderung menunjukkan adanya lekukan curam dan juga lekukan landai, yang menandakan adanya pembentukan monolayer dan beberapa multilayer. Adanya adsorpsi monolayer dan multilayer bersifat khas untuk material mesopori.

Tabel 3 menunjukkan nilai absorbansi dari proses fotokatalis menggunakan TiO_2 . Data menunjukkan perubahan nilai absorbansi berdasarkan perubahan waktu. Pada sampel pertama (10 menit awal), nilai absorbansinya menurun sampai 0,259. Hingga pada menit ke-70, didapatkan nilai absorbansinya yaitu 0,042. Secara keseluruhan, nilai absorbansi menunjukkan penurunan seiring berjalannya waktu. Hal ini menandakan bahwa proses fotokatalis berjalan dengan efektif.

Tabel 3. Hasil pengamatan proses proses penjernihan air menggunakan TiO_2

Waktu (menit)	Absorbansi	C(t)	Efisiensi
0	0,322	0,322	0,000%
10	0,259	0,241	24,024%
20	0,194	0,181	43,786%
30	0,124	0,136	57,853%
40	0,113	0,102	68,400%
50	0,092	0,076	76,307%
60	0,047	0,057	82,236%
70	0,042	0,043	86,681%

Nilai efisiensi tersebut menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu, nilai efisiensi akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan efisiensi dihitung dari nilai konsentrasi pada waktu tertentu (Ct) yang telah mengalami degradasi sebelum mencapai waktu tertentu tersebut. Sehingga saat mencapai menit ke-70, efisiensinya akan semakin besar karena polutan sebagian besar sudah didegradasi pada menit sebelumnya. Efisiensi mencapai nilai 68% pada menit ke-40 dan mencapai nilai 86% pada menit ke-70.

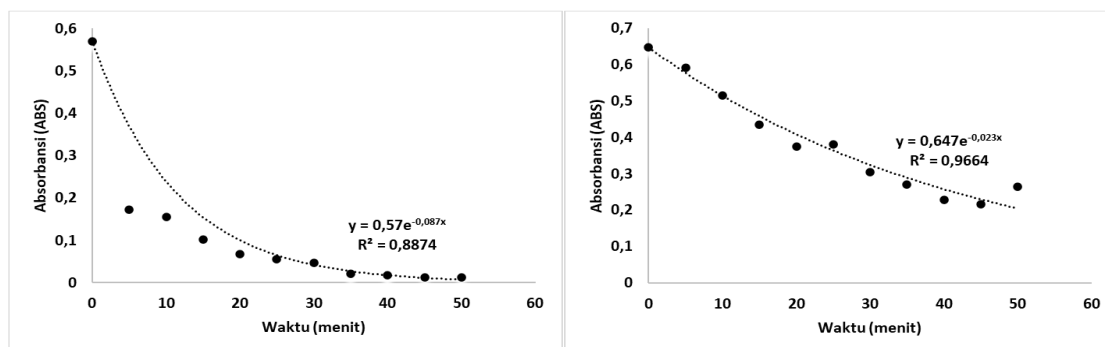
Tabel 4. Hasil pengamatan proses proses penjernihan air menggunakan rasio TiO_2 :karbon aktif 1:0,25

Waktu (menit)	Absorbansi	C(t)	Efisiensi
0	0,570	0,5700	0,000%
5	0,172	0,4077	69,825%
10	0,155	0,0880	72,807%
15	0,102	0,0567	82,105%
20	0,068	0,0267	88,070%
25	0,055	0,0127	90,351%
30	0,047	0,0074	91,754%
35	0,021	0,0045	96,316%
40	0,018	0,0014	96,842%
50	0,013	0,0009	97,719%

Tabel 5. Hasil pengamatan proses proses penjernihan air menggunakan rasio TiO₂:karbon aktif 1:0,5

Waktu (menit)	Absorbansi	C(t)	Efisiensi
0	0,647	0,647	0,000%
5	0,591	0,591	8,606%
10	0,514	0,540	16,471%
15	0,435	0,494	23,660%
20	0,375	0,451	30,230%
25	0,380	0,413	36,234%
30	0,305	0,377	41,722%
35	0,271	0,345	46,737%
40	0,228	0,315	51,321%
45	0,215	0,288	55,510%
50	0,265	0,263	59,339%

Hasil pengujian penjernihan air menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif pada material fotokatalis TiO₂ memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi degradasi metilen biru. Dalam penelitian ini, diketahui bahwa penambahan konsentrasi karbon aktif pada larutan fotokatalis TiO₂:karbon aktif sebesar 1:0,25 (Tabel 4) meningkatkan efisiensi degradasi metilen biru sebesar 30% dari fotokatalis dengan hanya menggunakan TiO₂ dan memiliki konstanta laju reaksi 0,083 menit⁻¹. Hal ini menandakan bahwa kemampuan adsorpsi karbon aktif terjadi secara optimal pada rasio ini. Namun, ketika konsentrasi karbon aktif ditingkatkan menjadi 1:0,5 (Tabel 5), efisiensinya justru menurun sekitar 20% dibanding TiO₂ murni.

**Gambar 7.** Grafik absorbansi fotokatalis terhadap waktu (a) TiO₂:karbon aktif rasio 1:0,25 (b) TiO₂:karbon aktif rasio 1:0,5

Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Arsyian dan Wahyuni (2024), yang mengemukakan bahwa setelah delapan jam radiasi matahari secara langsung, komposit activated carbon (AC)/TiO₂ yang dideposisikan pada granul polistirena dapat menurunkan metilen biru dengan efisiensi 83,75%. Meskipun efisiensinya mengalami peningkatan dari penggunaan TiO₂ saja, efisiensinya masih kurang dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif secara berlebihan atau dalam jumlah tertentu dapat menyebabkan hambatan difusi cahaya atau blocking pada permukaan situs aktif fotokatalis [8].

Selain itu, sebuah studi oleh Cai, et al., (2020) menunjukkan bahwa komposit TiO₂/karbon yang terkalsinasi, dengan dihitung pada 800°C dapat meningkatkan efisiensi fotokatalitik dan kapasitas adsorpsi MB. Efektivitasnya dipengaruhi oleh distribusi

partikel dan struktur karbon. Hal ini menunjukkan bahwa parameter sintesis memiliki dampak signifikan pada kinerja degradasi polutan [9].

Menariknya, studi dari Yue, et al., (2024) menunjukkan bahwa komposit TiO_2 dengan kandungan karbon aktif 3wt% mampu mendegradasi metilen biru dengan efisiensi 99,6% dalam 100 menit. Sedangkan peningkatan kandungan karbon aktif menjadi 5wt% justru menurunkan efisiensi menjadi 85,6%. Penurunan ini berkaitan erat dengan efek blocking, yaitu penutupan partikel karbon dari permukaan aktif TiO_2 , yang membatasi penetrasi cahaya UV dan mencegah interaksi langsung antara kontaminan dan fotokatalis [10].

4. Kesimpulan

Penambahan karbon aktif memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja fotokatalitik TiO_2 dalam degradasi metilen biru. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada rasio komposisi yang digunakan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasio TiO_2 :karbon aktif sebesar 1:0,25 merupakan kondisi optimum, menghasilkan efisiensi degradasi dan konstanta laju reaksi tertinggi. Penambahan karbon aktif di atas rasio ini justru menurunkan efisiensi, kemungkinan akibat *blocking* permukaan aktif dan berkurangnya penetrasi cahaya UV.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Annisa Aprilia, M.Si, Dr. Lusi Safriani, M.Si yang telah membimbing selama proses penelitian dan penulisan artikel, Functional Nanopowder University Center of Excellence (FiNder U CoE) yang telah memberikan dukungan penelitian dalam karakterisasi material, Laboratorium Eksperimen Fisika Lanjut-Departemen Fisika Universitas Padjadjaran yang telah mendukung proses penelitian dan uji penjernihan air, serta seluruh pihak yang terlibat.

Daftar Pustaka

1. N. Renu, K. Sunil. 2024. "A Brief Review Of Treatment Methods For Certain Emerging Contaminants In Domestic And Industrial Effluents ", Futuristic Trends in Chemical Material Sciences & Nanotechnology Volume 3 Book 18,IIP Series, Volume 3, Page no.25-39, e-ISBN: 978-93-5747-640-9, <https://www.doi.org/10.58532/v3bdcs18ch3>
2. Syngelakis, I., Aivalioti, C., Aperathitis, E., Kenanakis, G., Tzortzakis, S., Klini, A., & Farsari, M. 2023. "3D Microstructures of TiO_2 for Applications in Photocatalysis," 2023 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics (CLEO/Europe-EQEC), 1. <https://doi.org/10.1109/cleo/europe-eqec57999.2023.10231418>
3. Navidpour, A. H., Abbasi, S., Li, D., Mojiri, A., & Zhou, J. L. 2023. "Investigation of advanced oxidation process in the presence of TiO_2 semiconductor as photocatalyst: property, principle, kinetic analysis, and photocatalytic activity," Catalysts, 13(2), 232. <https://doi.org/10.3390/catal13020232>
4. Khan, S., Sadiq, M., Kim, D., Ullah, M., & Muhammad, N. 2022. " TiO_2 and its binary ZnTiO_2 and ternary CdZnTiO_2 nanocomposites as efficient photocatalysts for the organic dyes degradation," Applied Water Science, 12(6). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01628-0>
5. Bandara, S. V., & Perera, I. R. 2021. "Recent development and future prospects of TiO_2 photocatalysis," Journal of the Chinese Chemical Society, 68(5), 738–769. <https://doi.org/10.1002/jccs.202000465>
6. Stanković, H., Krstić, A., Rubežić, M., Vasić, M., Randelović, M., & Zarubica, A. 2019. " TiO_2 modified with carbonized materials: Photocatalysis/adsorption of

- organic pollutants from aqueous solution: A short review,” *Advanced Technologies*, 8(2), 82–91. <https://doi.org/10.5937/savteh1902082s>
7. Khan, H., & Shah, M. U. H. 2023. “Modification strategies of TiO₂ based photocatalysts for enhanced visible light activity and energy storage ability: A review,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111532. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111532>
 8. Arsyad, Y., & Wahyuni, D. 2024. “Deposition of Activated Carbon/TiO₂ on Polystyrene Polymer and Its Performance in Photodegradation of Methylene Blue,” *Jurnal Teori dan Aplikasinya*, 12(02). <https://doi.org/10.23960/jtaf.v12i02.373>
 9. Cai, J., Hu, S., Xiang, J., Zhang, H., & Men, D. 2020. “The effect of graphitized carbon on the adsorption and photocatalytic degradation of methylene blue over TiO₂/C composites,” *The Royal Society of Chemistry*, 67(10), 40830–40842. <https://doi.org/10.1039/d0ra01105c>
 10. Yue, Y., Yue, X., Tang, X., Han, L., Wang, J., Wang, S., & Du, C. 2024. “Synergistic adsorption and photocatalysis study of TiO₂ and activated carbon composite,” *Heliyon*, 10(6), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30817>